

Konstruktionswerkzeuge für elektronisch/mechanisch integrierte Produkte

ECAD- und MCAD-Funktionen in einem dreidimensionalen Entwicklungssystem integriert

Die Integration mechanischer und elektronischer Funktionen in elektronisch/mechatronisch-integrierten Produkten gewinnt stark an Bedeutung. Treibende Kräfte hierfür sind die Elektronifizierung ehemals mechanisch, elektrisch oder hydraulisch realisierter Funktionen sowie der in nahezu allen Branchen zunehmende Zwang zur Miniaturisierung der Geräte. Diese komplexe, integrative Aufgabe versuchen bis heute speziell ausgebildete Ingenieure (Elektrotechniker/Maschinenbauer) paradoxerweise in getrennten organisatorischen Einheiten (Elektronik-/Mechanik-Entwicklung) mit unterschiedlichen Konstruktionswerkzeugen (ECAD/MCAD) zu lösen.

Von Dr. Thomas Krebs und Dr. Jörg Franke

Ergebnis der erwähnten fachspezifischen Aufgabenteilung sind zumeist hoch optimierte Einzelprozesse in den verschiedenen Entwicklungsbereichen. Daraus folgen ineffiziente Zusammenarbeit zwischen

den Abteilungen und suboptimale Produkte. Daher versucht man, die konventionelle, getrennte Entwicklung mechanisch/elektronisch-integrierter Produkte durch behelfsmäßige Kopplung der CAD-Systeme für die Elektro-

nik (ECAD) und für die Mechanik (MCAD) zusammenzuführen (Bild 1). Dazu werden Positionen, Grundrisse und teilweise auch Höheninformationen der Bauelemente aus dem ECAD über einfache Schnittstellen an das MCAD übertragen. Mit mehr oder weniger manuellem Zusatzaufwand wird so versucht, ein räumliches geometrisches Abbild der bestückten Baugruppe zu erzeugen.

In dem konventionellen Entwicklungsprozess gibt zumeist die Mechanikkonstruktion den für die elektronische Baugruppe verfügbaren Bauraum vor. Da alle bisherigen ECAD-Systeme mit einer Abstraktion der Realität auf zwei Dimensionen arbeiten, kann der maximale Bauraum auch nur als Flächen-Kontur übergeben werden. Auf dieser definierten Fläche versucht der Elektronikentwickler mit speziellen ECAD-Funktionen, die elektronischen Bauelemente geeignet zu platzieren und ein optimales Leiterbild zu verdrahten. Das Layout, das bei komplexen Schaltungen zur Fertigstellung einige Wochen in Anspruch nehmen kann, wird zur Überprüfung wieder zurück ins MCAD gespielt. Falls dort Kollisionen gefunden werden oder gar in der Mechanikkonstruktion zwischenzeitlich der Bauraum verändert wurde und deswegen Bauelemente verschoben werden müssen, muss schlimmstenfalls der gesamte Layoutprozess nochmals ausgeführt werden. Unter Umständen muss diese aufwendige Regelschleife mehrfach durchlaufen werden.

Oftmals noch aufwendiger als die eben beschriebene Generierung der Eingangsdaten der elektronischen Baugruppen für die Mechanik-Konstruktion ist die Aufbereitung der Daten für Simulations- oder Analysesysteme, die auf unterschiedliche Anwendungsfälle oder physikalische Effekte spezialisiert sind. Neben detaillierten Werkstoffeigenschaften müssen hochgenaue Modelle der dreidimensionalen Geometrie erstellt und vernetzt werden. So können zum Beispiel für die thermische Analyse die Größe der Lötungen oder die Dicke der Kupferflächen von entscheidender Bedeutung sein und für die EMV-Simulation die Form der Pins oder die Verlegung von Kabeln im Raum.

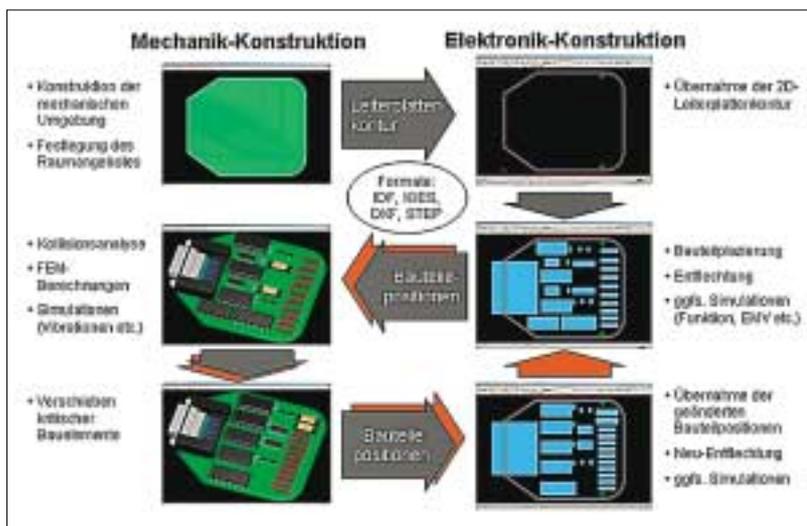


Bild 1. Der bis dato erforderliche Abstimmungsprozess bei der elektro-mechanischen Konstruktion mit getrennten CAD-Systemen kostet nicht nur Zeit, sondern birgt auch Fehlerquellen in sich.

Die in *Bild 2* zusammengefassten Schwachstellen des konventionellen elektronisch/mechanischen Entwicklungsprozesses eröffnen einer funktionsintegrierten Konstruktion ein beträchtliches Effizienzsteigerungspotential. Vielmals noch bedeutender als die Beschleunigung der Entwicklungszeit ist, dass die unzureichenden Möglichkeiten zur Abstimmung der verschiedenen Funktionsmodule zur Definition technisch unbegründeter Sicherheiten führen. Damit werden z.B. Verbindungskabel länger, Kühlleistungen höher, die elektronischen Geräte selbst größer und die Gesamtsysteme teurer als erforderlich.

► Räumliche Produktaufbau-technologien erfordern eine dreidimensionale Elektronikonstruktion

Während Einbauuntersuchungen mit getrennten Konstruktionssystemen bereits für planare Schaltungsträger



Bild 2. Schwachstellen des konventionellen elektro-mechanischen Konstruktionsprozesses.

schwierig zu lösen sind, können die weitreichenden Potentiale zur Miniarisierung, Leistungssteigerung und Kostenreduzierung räumlicher Schaltungsträger mit herkömmlichen CAD-Werkzeugen überhaupt nicht mehr erschlossen werden (*Bild 3*).

In der täglichen Praxis müssen trotz der Tatsache, dass der gesamte Prozess zur Entwicklung und Herstellung elektronischer Baugruppen dediziert auf ebene Leiterplatten ausgerichtet ist,

auch weiterhin praktikable Lösungen gefunden werden. Ein Lösungsansatz sind dabei flexible Träger-Folien, mit denen Entwickler sich – trotz der Begrenzungen der planaren Verfahrenskette – die Vorteile räum-

licher Gestaltung erschließen können. Für flexible Leiterplatten ist nicht nur die bestehende Herstellungskette (Leiterbildstrukturierung, Bestückung, Löten, Testen), sondern auch jenes CAD-System weiter verwendbar, welches bei starren Leiterplatten zum Einsatz kam. Nur für die Endmontage müssen Sonderlösungen verwendet werden – beispielsweise für das Einlegen, Biegen und gegebenenfalls auch für das Falten der flexiblen Folien in ihr mechanisches

Bild 3. NEXTRA unterstützt alle Aufbautechnologien elektronisch/mechanisch integrierter Produkte.



Umfeld. Es geht also um das räumliche Gebilde, das die flexiblen elektronischen Baugruppen einschließlich ihrer Komponenten einnehmen. Eben diese Ausformung muss bisher immer noch mit physisch aufgebauten Modellen verifiziert werden. Da auf diese zeitaufwendige Weise keine einfache Variation der flexiblen Baugruppe (z.B. durch Veränderungen der Bauelemente-Plat-

zierung, der Folienkontur, -lage oder -biegung) möglich ist, gerät die Erzielung eines optimierten Produktaufbaus zu einem schwierigen Unterfangen.

Wenn die Übertragung hoher Ströme erforderlich ist, wenn komplexe Steckverbindungen eingebracht werden sollen oder auch andere elektromechanische Funktionen zu integrieren sind, werden Stanzgitter als weitere

Form räumlicher Verbindungstechnik eingesetzt. Da die elektrischen Netze sehr häufig räumlich diffizil und auch mehrlagig verdrahtet werden, müssen Stanzgitter in aller Regel mit Hilfe mechanischer CAD-Systeme konstruiert werden. Anders als im ECAD gewohnt, bleibt dem Entwickler dabei nichts anderes übrig, als dass er die einzelnen Blechbahnen zeitraubend geometrisch modelliert. Da die Stanzgitter damit kein Teil des elektrischen Modells mehr sind, ergeben sich weitere erhebliche Nachteile in der Verlegung der Leitungen ohne logische Informationen, ohne systemtechnisch unterstützte Designregeln (z.B. Mindestabstände und -breiten, Biegeradien, Anschlussformen als Stecker oder Pads) und in der äußerst schwierigen Verfolgung von Änderungen, die auf elektrischer oder mechanischer Seite eingebracht werden.

Völlig neue Möglichkeiten in der räumlichen Gestaltung elektronischer Baugruppen werden darüber hinaus durch die Technologie dreidimensiona-

ler, spritzgegossener Schaltungsträger (3D-MID: Molded Interconnect Devices) erschlossen. Auf beliebig gestalteten thermoplastischen Grundkörpern können damit auf räumlich geformten Flächen Bauelemente platziert und Leiterbahnen verlegt werden. Sowohl für die Herstellung von MIDs als auch für die Montage (Bestücken, Löten, Testen) steht bereits eine Reihe ausgereifter Fertigungsverfahren zur Verfügung: Beim Heißprägen werden mit einem beheizten Stempel, der das räumliche Leiterbild darstellt, aus einer Kupferfolie gleichzeitig die Leiterbahnen ausgestanzt und mit dem thermoplastischen Schaltungsträger verklebt. Mit dem Laser können die zu metallisierenden Bereiche auf dem Kunststoff-Schaltungsträger auch direkt aktiviert werden (Laser-Direkt-Strukturieren; LDS) oder – statt der bekannten planaren Masken – für die Belichtung mit dem Laser beschriebene räumliche Masken zum Einsatz kommen. Auch auf Basis des gängigen Zwei-Farben-Spritzgießens kön-

nen räumlich frei geformte Leiterbilder realisieren werden. Statt unterschiedlicher Farben werden jedoch in einem Schuss ein metallisierbarer und in dem anderen Schuss ein nicht-metallisierbarer Kunststoff miteinander verarbeitet. In dem anschließenden stromlosen Metallisierungsprozess entsteht damit das dreidimensionale Schaltungsbild. Die völlig neuen Möglichkeiten, die sich mit der MID-Technologie in der Gestaltung elektronischer Produkte ergeben, werden wiederum hauptsächlich durch die Einschränkung der bisher verfügbaren Elektronik-CAD-Systeme begrenzt.

Die zunehmenden Anforderungen an die Miniaturisierung der Elektronik zwingen die Entwickler andererseits zu neuen Sondertechniken, z.B. die Einlaminierung integrierter Schaltkreise in die Prepregs der Leiterplatten (Chip-in-Mold), das Stapeln von ICs oder Leiterplatten oder die Montage passiver Bauelemente in Durchkontaktierungs-Bohrungen. Dies sind alles

Verfahren, die zwar fertigungstechnisch realisierbar, in konventionellen ECAD-Systemen jedoch nur sehr schwer darstellbar sind.

Neben den vielfältigen Möglichkeiten und Notwendigkeiten zur räumlichen Gestaltung der Schaltungen fordern auch neue Produktionsverfahren vermehrt die Repräsentation der Elektronik in 3D: Optische Inspektionssysteme (Lasertriangulation, 3D-Röntgen) generieren ein räumliches Abbild der montierten elektronischen Baugruppen. Fehler werden durch den Vergleich mit einer ideal gefertigten Muster-Leiterplatte („Golden Board“) detektiert. Sinnvoller wäre sicherlich die Übernahme der Geometrie-Informationen aus einem 3D-CAD-System.

► **Elektronisch/mechanisch-integrierte Konstruktion mit NEXTRA**

In der mechanischen Konstruktion sind dreidimensionale CAD-Systeme seit

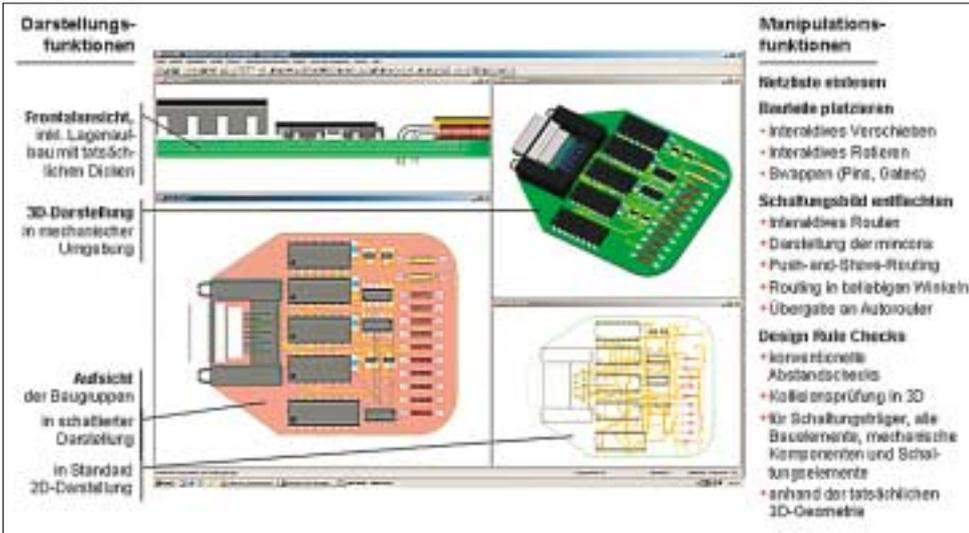


Bild 4. Das 3D-CAD-System NEXTRA enthält nicht nur alle bekannten Funktionen zur Schaltungs-Layout-entwicklung (wie Netzliste einlesen und Bauelemente platzieren), sondern auch vielfältige Möglichkeiten zur räumlichen Modellierung und Darstellung.

mehr als 15 Jahren auf dem Markt und mittlerweile Standard. Mit NEXTRA ist nun endlich auch ein 3D-CAD-System für elektro/mechanisch-integrierte Produkte verfügbar, das alle bekannten Funktionen zur Schaltungs-Layout-entwicklung – wie Netzliste einlesen, Bauelemente platzieren, Leiterbild verdrahten und Design Rules überprüfen – mit den vielfältigen Möglichkeiten zur räumlichen Modellierung und Darstellung in einem Entwicklungswerkzeug verbindet (Bild 4).

Der Elektronik-Entwickler erhält damit Funktionen an die Hand, die bisher nur in mechanischen CAD-Systemen bereitgestellt wurden. Er kann das elektronische Layout direkt in der mechanischen Umgebung entwickeln, die er entweder aus dem MCAD-System in NEXTRA laden oder selbst erstellen kann. Damit wird eine kollisionsfreie, bezüglich des Raumbedarfes minimierte Gestaltung der elektronischen Baugruppe von Anfang an gewährleistet. Falls dennoch Änderungen an der Geometrie, z.B. des Gehäuses, erforderlich wären, kann der Elektronikonstrukteur die betreffenden Stellen genau markieren und das Gehäuse zusammen mit der Leiterplatte und den platzierten Bauelementen einfach an das MCAD-System zurückspielen. Mit den

umfangreichen geometrischen Modellierungsfunktionen (z.B. Boolesche Operationen wie Addition, Subtraktion, Intersektion von Körpern)

und Visualisierungsfunktionen (3D-Draht- oder schattierte Darstellung der Produkte, dynamische Kamera) von NEXTRA hat der Anwender sogar die Möglichkeit, die Geometrie des mechanischen Systems beliebig zu ändern. Alle Konstruktionsschritte lassen sich dabei auch rückgängig machen und wieder herstellen.

Nach Einlesen der Netzliste aus einem Schaltungseingabesystem werden die definierten Bauelemente dreidimensional am Bildschirm angezeigt und können per Drag & Drop komfortabel auf allen räumlich geformten Flächen (Ebenen, Regel- oder Freiformflächen) bewegt und rotiert werden. Ebenso sind Pin- und Gateswaps sowie das Arbeiten im Raster möglich. Die Netzliste wird über die gewohnten Verbindungslinien dargestellt. Durch Klicken von Positionen kann der Lay-

out-Designer die Bahnen des Leiterbildes unkompliziert verlegen und bei Bedarf entweder als Mittellinie, als Flächen-Kontur oder sogar als Volumenkörper einschließlich der definierten Höhe darstellen. Er hat die Option, einzelne Flächen zu spezifizieren oder die gesamte Abwicklung des räumlichen Schaltungsträgers manuell oder automatisch zu generieren, um sie zur automatischen Verdrahtung an einen externen Autorouter zu übergeben.

Die in NEXTRA online erzeugten dreidimensionalen Modelle der elektronischen Baugruppen können auch in anderen CAE-Werkzeugen (z.B. für thermische und EMV-Simulation, Modalanalyse oder FEM-Berechnung) weiterverwendet werden, da die meisten Simulations- und Analysetools ebenfalls auf Basis dreidimensionaler Modelle arbeiten. Die zeitaufwendige, mehrfache Erstellung entfällt damit. Dabei können alle erforderlichen geometrischen Details wie z.B. Leiterbahndicken, Pinformen oder gar die Lötangestalten verarbeitet werden.

Das Layout erfolgt dabei immer unter Berücksichtigung der in einer relationalen Datenbank abgelegten Technologie-Definitionen, z.B. Leiterbahnbreiten, -höhen und -winkel, Padformen, Durchkontaktierungsdefinitionen. Alle vorgenommenen Aktionen können online, oder gezielt gestartet, auch von umfangreichen Design Rules überprüft werden, die sich in NEXTRA für Bedingungen im Raum (z.B. Mindest-Abstand einer Hochfrequenzleitung zu einem Metallgehäuse) festle-



Bild 5. NEXTRA kann in laufenden Entwicklungsprozessen zum Einsatz kommen, da sich die Software nahtlos in führende E- und MCAD-Programme integrieren lässt. Die Anbindung an die EDA-Systeme von Mentor Graphics, Cadence und Zuken erfolgt über Schnittstellen für Netzliste, Bibliotheken, Autorouter, Autoplacer und 2D-Layout-Systeme.

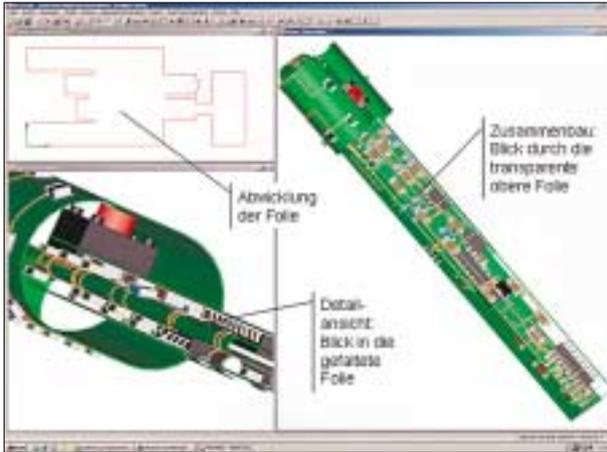


Bild 6. Anwendungsbeispiel von NEXTRA: ein elektronischer Flüssigkeitssensor in Folientechnologie. Der äußerst begrenzte verfügbare Bauraum erfordert das mehrfache Falten der flexiblen Leiterplatte.

gen lassen. Technologie-Informationen können sowohl zentral als auch am Arbeitsplatz eingegeben oder von Fremdsystemen (aus anderen CAD-Systemen bzw. Bibliotheken; von externen Zulieferern oder Kunden) direkt importiert werden.

► **Ein Tool ist nur so mächtig, wie seine Bibliotheken es zulassen**

Neben der Technologiedatenbank bietet NEXTRA eine Komponenten-Bibliothek, die sowohl elektrische

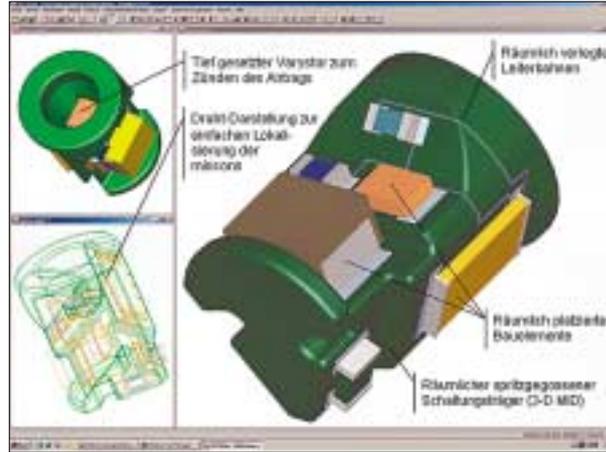
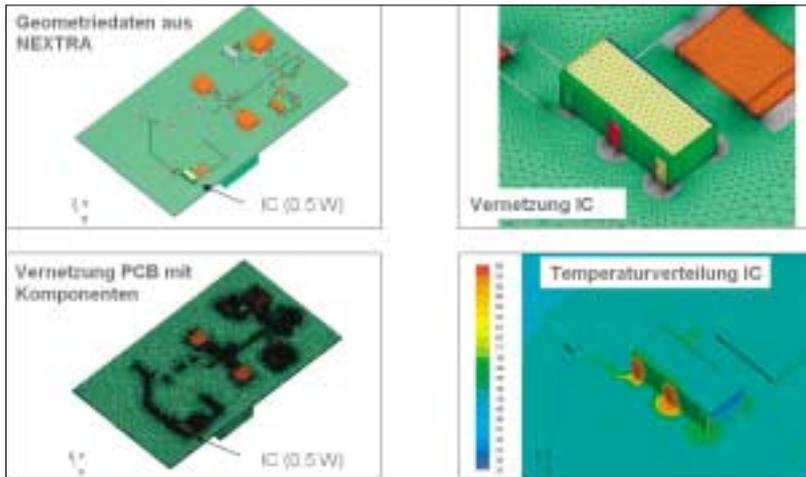


Bild 7. 3D-Layoutfunktionen von NEXTRA am Beispiel eines Airbag-Zündmoduls in 3D-MID-Technologie. Der Zündvaristor wird in eine tiefe Bohrung gesetzt, die anderen Bauelemente finden auf allen weiteren verfügbaren Flächen Platz.

Eigenschaften als auch die vollständige dreidimensionale Geometrie strukturiert zur Verfügung stellt. Die 3D-Geometrie elektrischer Standard-Komponenten kann darüber hinaus auch mit Hilfe eines komfortablen Erstellungsassistenten erstellt werden.

Bild 8. Das 3D-CAD-System kann unter anderem auch mit Temperatursimulationen gekoppelt werden – hier: Berechnungsgitter und Ergebnisse aus der Kooperation mit der Firma Fluent.



Für einen QFP mit 256 Pins muss der Layout-Designer dazu nur dessen Bauform (QFP), die Anzahl (256) und Form (J-Lead) der Pins sowie den Pitch-Abstand (0,1 mm) manuell eingeben. Die räumliche Modellierung wird dann automatisch erstellt. Spe-

zielle Bauelemente (Stecker, Schalter, Antennen etc.) kann der Designer direkt in NEXTRA modellieren, aus dem MCAD-System importieren sowie vom Bauelementehersteller oder auch aus Bibliotheken unabhängiger Anbieter heraus übernehmen.

Die Ausgabe der Designinformationen für die unterschiedlichen Prozesse zur Herstellung, Montage und zum Test von Schaltungsträgern wird durch NEXTRA selbstverständlich unterstützt. Erstmals wird damit die Ansteuerung spezifischer Produktionsverfahren für räumliche Schaltungsträger möglich, z.B. das Laser-Direkt-Strukturieren oder das 3D-Bestücken.

NEXTRA kann selbst in bereits laufenden Entwicklungsprozessen eingesetzt werden (Bild 5), da die Software sich nahtlos in die führenden E- und MCAD-Programme integrieren lässt. Die Anbindung an die EDA-Systeme von Mentor Graphics, Cadence und Zuken erfolgt über Schnittstellen für Netzliste, Bibliotheken, Autorouter, Autoplacer und 2D-Layout-Systeme. Die Integration in die mechanischen CAD-Systeme wie Catia, ProEngineer, SolidWorks oder Unigraphics erfolgt ebenfalls über systemspezifische oder offene Schnittstellen (IGES, STEP).



Dr. Thomas Krebs

studierte Produktionstechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg und promovierte am Institut von Prof. Feldmann zum Thema „3D-ECAD und CAD-Integration über STEP“. Danach war er Projektleiter zahlreicher CAD-Integrationsprojekte für namhafte Automobilhersteller bei ProSTEP GmbH, Darmstadt. Als Entwicklungsleiter für 3D-ECAD bei ZUKEN, Bristol, leitete er u.a. auch das 3D-ECAD-Projekt für Ford/Visteon, Dearborn. Nach einer leitenden Position in der Entwicklung elektronischer Bibliotheksverwaltungssysteme bei Mentor in Nürnberg gründete er die Firma MECADTRON GmbH.

► E-Mail: thomas.krebs@mecadtron.de



Dr. Jörg Franke

studierte Produktionstechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg und promovierte am gleichen Institut zum Thema „Räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3D-MID)“. Dort bearbeitete er zusammen mit Dr. Krebs erste Forschungsprojekte zu 3D-ECAD. Danach wechselte er als Berater zu McKinsey & Co in München und Düsseldorf. Nach seiner Verantwortung für strategische Projekte (insb. M&A) bei Bosch in Stuttgart wurde er in die Geschäftsleitung der ZF Lenksysteme GmbH, ein Gemeinschaftsunternehmen mit ZF AG, entsandt. Aus seiner darauf folgenden Verantwortung für Vertrieb/Marketing Asien/Pazifik bei INA Schaeffler KG, Herzogenaurach und Shanghai, stieg er als Geschäftsführer Vertrieb bei der MECADTRON GmbH ein.

► E-Mail: joerg.franke@mecadtron.de

► Innovative Anwendungsbereiche

Die Leistungsfähigkeit der innovativen Softwaretechnologie NEXTRA konnte u.a. bereits in folgenden Anwendungsprojekten eindrucksvoll verifiziert werden: Bild 6 zeigt einen elektronischen Flüssigkeitssensor in Folientechnologie. Der äußerst begrenzte verfügbare Bauraum erfordert das mehrfache Falten der flexiblen Leiterplatte. Um sicherzustellen, dass die elektronische Schaltung kollisionsfrei eingebaut werden kann, biegt man in diesem speziellen Konstruktionsprozess mit Hilfe von NEXTRA zuerst das flexible Trägermaterial in das Gehäuse. Erst danach werden die Bauelemente auf die verwinkelten Flächen positioniert und die Leiterbahnen räumlich verlegt. Bild 7 veranschaulicht die 3D-Layoutfunktionen von NEXTRA am Beispiel eines Airbag-Zündmoduls in 3D-MID-Technologie. Der Zündvaristor wird anwendungsoptimal in eine tiefe Bohrung gesetzt, die anderen Bauelemente finden auf allen weiteren verfügbaren Flächen Platz. NEXTRA ermöglicht komfortabel auch die erforderliche Verlegung der Leiterbahnen auf den räumlich geformten und zueinander im Winkel stehenden Layout-Flächen. In einem Fenster wird parallel eine Kantendarstellung der Volumenkörper benutzt, um die durch den dreidimensionalen Raum verlaufenden Verbindungslinien einfach picken zu können.

Die Integration von Simulationssystemen mit NEXTRA wird in Bild 8 illustriert. Besonders wichtig in dieser Anwendung ist die Übertragung der vollständigen 3D-Leiterbild-Geometrie, da die Ableitung der Wärme über die Leiterbahnen eine große Rolle spielt. go

Literatur

- [1] Franke, J.: Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3D-MID). Dissertation, Hanser Verlag, München 1995.
- [2] Krebs, T.: Integration elektromechanischer CA-Anwendungssysteme über einem STEP-Produktmodell. Dissertation, Meisenbach Verlag, Bamberg 1996.
- [3] Feldmann, K.; Franke, J.; Krebs, T.: OMNI-CAD: Integration von Funktionen zur elektrischen und mechanischen Produktgestaltung. Tagungsunterlagen zur Fachtagung CAD '94, 17. – 18.03.1994, Paderborn.